

## АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОЛИМЕРНОЕ ЗАВОДНЕНИЕ

Д.А. Вендина

Научный руководитель - старший преподаватель Ю.А. Максимова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

При разработке многопластовых месторождений не обеспечивается равномерное нефтевытеснение, в результате чего в малопроницаемых зонах остается нефть. Для уменьшения нефти в граничных слоях применяют реагенты, которые улучшают смачиваемость породы вытесняющей водой. Поэтому применение полимерного заводнения (ПЗ) является наиболее перспективным методом увеличения нефтеотдачи.

Полимерное заводнение – технология повышения нефтеотдачи путем увеличения коэффициента охвата пласта заводнением. Сущность данного метода заключается в том, что полимеры растворяют в воде, чтобы увеличить вязкость воды и снизить ее подвижность. Реагенты способны проникать вглубь пласта и создавать потокоотклоняющие экраны. Нефть, которая была удержана капиллярными силами или не была охвачена, остается в пласте. ПЗ способствует извлечению остаточной нефти. Полимерный раствор проникает в высокопроницаемые пропластки, в результате чего уменьшается динамическая неоднородность потоков жидкости, соответственно, увеличивается охват пласта заводнением.

В 1960-х годах в СССР изучали методы увеличения вытесняющей способности воды, которые заключались в добавлении различных химических реагентов для увеличения вытеснения нефти из малопроницаемых зон пласта. Биополимер «Продукт БП-92» в 1999 году был внедрен на Покамасовском месторождении. Было произведено 69 операций по закачке реагента в пласт. В пласт было закачено 50 тыс. м<sup>3</sup> реагента [1]. Технологический эффект от применения данного полимера составил более 500 тонн дополнительно добытой нефти на 1 тонну реагента.

При неэффективном вытеснении происходит прорыв воды к добывающим скважинам, что способствует увеличению обводнения. В данном случае соотношение подвижностей нефти и воды неблагоприятное (коэффициент подвижности близок к 1), поэтому закачка полимера в пласт повысит коэффициент охвата. Причинами прорывов могут служить: зональная и слоистая неоднородности пласта, залегание подошвенных вод, наличие высокопроницаемых трещин или каналов (особенно характерно для трещиновато-пористого коллектора), а также негерметичность эксплуатационной колонны. Если пласт, даже при благоприятном отношении подвижности воды и нефти, имеет некоторую неоднородность, то в этом случае возможно извлечь нефть из низкопроницаемых пропластков [4].

При применении ПЗ происходит большее нефтевытеснение в сравнении с традиционным заводнением. ПЗ заключается в смешивании воды и полимера, и закачки данного раствора в пласт. Раствор необходимо закачивать до тех пор, пока полимер не заполнит  $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{2}$  порового пространства коллектора. Обычно полимерные растворы представляют собой оторочку размером 40-50% от объема пор.

При выборе полимера необходимо рассмотреть геолого-физические условия (ГФУ) применения для ПЗ, чтобы применение ПЗ было более эффективным. Диапазон ГФУ в последнее время значительно расширился. Это связано с тем, что разработки в нефтехимии позволили адаптировать полимеры и сделать их более устойчивыми к температуре пласта, минерализации пластовой воды и коэффициенту сдвига. Также чтобы полимеры были более устойчивы к жестким средам добавляют специальные защитные добавки.

Новые исследования в области ПЗ, учитывая особенности закачки реагента в пласт, уменьшают риск разрушения полимера и повышают эффективность применения технологии. В настоящее время ПЗ осуществляется при больших значениях температур, минерализации и в пластах с тяжелой нефтью. В таблице представлены контрольные параметры полимерного заводнения.

*Таблица*

*Параметры полимерного заводнения*

Характеристики коллектора	Текущий диапазон применения
Проницаемость, мкм <sup>2</sup>	0,01 – 10
Температура, °С	80 – 120
Литологический состав	Песчаник
Вязкость нефти в пласте, Па·с	< 10
Плотность нефти, кг/м <sup>3</sup>	> 965,9
Минерализация, г/л	< 270
Нефтенасыщенность, %	> 20

Важную роль при ПЗ играют проницаемость пласта, пластовая температура и минерализация воды. Учитывая тот факт, что в карбонатных коллекторах присутствуют такие ионы, как Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, в данных коллекторах происходит осаждение полимера солями кальция и магния. Что отрицательно сказывается на процессе заводнения.

Стабилизаторы позволяют полимеру сохранять устойчивость к высокой пластовой температуре, а также не дают полимеру осаждаться из раствора. Температурную обстановку в пласте можно отследить по геотермическому градиенту, т.е. прирост пластовой температуры на 1 м глубины), и геотермической ступени – величина, обратная геотермическому градиенту. В недрах существуют не только участки с нормальными значениями температур, также наблюдаются участки с аномальными температурами [2]. Величина геотермического градиента уменьшается в синклинальных зонах и возрастает в антиклинальных. Таким образом, синклинали являются зонами пониженной

температуры. Это объясняется тем, что в районах синклинальных впадин и прогибов преобладают глинистые породы, которые, в свою очередь, обладают меньшей теплопроводностью. Антиклинали – зоны повышенной температуры. Эти аномалии вызваны тем, что в пределах поднятий преобладает песчаный разрез, который обладает повышенной теплопроводностью. Повышенные температуры считаются температуры выше 95°C при градиенте выше 4°C/100м.

Давление для закачки полимерных растворов в пласт должно быть выше давления обычного заводнения. Соответственно, давление должно быть около 20 МПа. Такое давление необходимо, чтобы поддерживать пластовое давление из-за повышения вязкости вытесняющего агента, появления дополнительного сопротивления среды, а также из-за проявления кажущейся вязкости раствора. По этим причинам ПЗ окажется малоэффективным в слабопроницаемых пластах. В ходе фильтрации через пористую среду в растворе проявляется кажущаяся вязкость, как уже говорилось выше. Вязкость оказывается в 10-20 раз выше вязкости, измеренной вискозиметром. В результате этого ПЗ более эффективно применять для нефти, обладающей высокой вязкостью, чтобы увеличить коэффициент охвата пласта заводнением.

При перемешивании полимера и пластовой воды наблюдается разрушение молекул и соответственно снижение вязкости. Если пластовая вода обладает высокой минерализацией, то концентрация полимера должна быть в 2-3 раза выше. Однако для эффективного ПЗ лучше использовать слабоминерализованную воду с небольшим содержанием кальция и магния.

При применении ПЗ полимеры с большой молекулярной массой подвержены различным деструкциям, разрушениям молекул полимера. Процесс деструкции приводит к ухудшению заводнения и уменьшению нефтеотдачи. Существует несколько типов деструкции полимера:

- Химическая деструкция – образование свободных радикалов;
- Механическая деструкция – происходит при воздействии на основную цепь полимера большого сдвигового напряжения;
- Термическая деструкция – воздействие температуры на полимер;
- Биологическое разложение полимера.

Химическая деструкция является следствием взаимодействия молекул полимера и кислорода. Полимер перед закачкой в пласт растворяют в «воде для растворения», а затем в «воде для разбавления». Вода, с помощью которой получают необходимый раствор для заводнения, содержит в своем составе элементы, способные вступать в реакцию: растворенный кислород  $O_2$ , сероводород  $H_2S$ , железо  $Fe^{2+}$  и пр. Благодаря взаимодействию окислителя и восстановителя образуются свободные радикалы. При контакте с ПАА происходит разрушение полимера. Важно, чтобы полученный раствор содержал небольшое количество кислорода и ограниченное количество поглотителей кислорода. Например, можно использовать акцепторы свободных радикалов. Данный метод заключается в применении поглотителей кислорода (например, бисульфита аммония  $NH_4HSO_3$ ), с помощью которых возможно снизить содержание в воде, используемой для закачки, кислорода до 0-20 частей на миллиард (0-20 ppb).

Сдвиговое напряжение или сдвиг – фактор, который влияет на наличие механической деструкции полимера. Разделение полимера на отдельные части происходит под действием сдвига. В результате данного процесса образуются свободные радикалы, которые так же, как и при химической деструкции, способны разрушать полимерные молекулы в ходе цепной реакции. Основной сдвиг наблюдается в нагнетательной линии. Это объясняется тем, что в данном месте происходит затор или уменьшение внутреннего диаметра. Также сдвиг можно наблюдать при прохождении жидкости по насосам или в призабойной зоне пласта. В трубах и оборудовании скорость потока жидкости рекомендуется не более 5 м/с [3].

Термическая деструкция наступает при воздействии пластовой температуры на полимер. Реакции осаждения взаимодействующих между собой гидролизированным ПАА и двухвалентными ионами пластовой воды ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) происходят при определенных температурах. Эти реакции ведут к потере вязкости раствора закачки. Гидролиз полимера также может происходить и при низких температурах (50°C) при определенных значениях pH раствора. Данный процесс приведет к повышенной анионности полимера, в результате чего соли кальция и магния будут осаждать полимер. Поэтому при высоких температурах следует выбирать полимер с низкой анионностью или с низкой кажущейся вязкостью.

Таким образом, выбор полимера и/или защиты полимера является важным звеном в процессе ПЗ. Для более эффективного применения необходимо снизить риск наступления деструкции, а также проанализировать геолого-физические условия применения. Наиболее главные параметры, которым должны удовлетворять полимеры: пластовая температура, проницаемость пласта и минерализация закачиваемой воды. Для повышения нефтеотдачи стабильность реагентов определяет продолжительность эффекта заводнения, соответственно реагент должен быть устойчив к повышенной пластовой температуре.

#### Литература

1. Билинчук А.В. Биополимерное заводнение – основа прироста извлекаемых запасов нефти на разрабатываемых месторождениях Западной Сибири / А.В. Билинчук, А.П. Рязанов, С.А. Власов, Я.М. Каган // Геология нефти и газа. – 2007. – № 3. – С. 49–54.
2. Повышение эффективности полимерного заводнения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://snf-group.ru/wp-content/uploads/2015/05/Oil-30\\_Years\\_of\\_EOR.pdf](https://snf-group.ru/wp-content/uploads/2015/05/Oil-30_Years_of_EOR.pdf) (дата обращения 30.01.2020).
3. Сайт «Газпром информаторий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gazprominfo.ru/terms/reservoir-temperature/> (дата обращения 30.01.2020).
4. Тома А. Полимерное заводнение для увеличения нефтеотдачи на месторождениях легкой и тяжелой нефти / А.Тома, Б. Саюк, Ж. Абиров, Е. Мазбаев // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2017. – № 7–8. – С. 58–66.